La thermique du bâtiment

CAHIERS TECHNIQUES

>> EN **36** FICHES-OUTILS <<

Gina Penu

CLIMACONFORT
Efficacité énergétique & confort intérieur des bâtiments

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com

ÉDITEUR DE SAVOIRS

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, Paris, 2013
ISBN 978-2-10-058530-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage, destiné aux étudiants en génie climatique et énergétique, aux ingénieurs et aux techniciens des bureaux d'études en bâtiment, a pour but de rassembler les principales données et les différents aspects technologiques et fonctionnels des équipements en thermique du bâtiment.

Il existe une multitude de technologies dans les domaines de chauffage et de la climatisation. L'ouvrage présente les solutions existantes, accompagnées de schémas d'installations courantes, de bilans thermiques, de listes d'isolants actuels et de leurs caractéristiques thermiques, de solutions pour le traitement des ponts thermiques, qui représentent une importante source de déperditions.

L'ouvrage contient cinq dossiers détaillés : chauffage, climatisation, isolation, régulation, législation, ainsi que de nombreuses annexes. Les dossiers sont structurés sous forme de fiches-outils, découpées en trois sections :

- **Repères** apporte des éléments d'information de base sur les techniques : état de l'art, théorie, connaissances fondamentales...
- **Savoir-faire** détaille la mise en œuvre, le dimensionnement, les installations types...
- **En pratique** fournit des exemples d'installations et de matériels, des banques de données pour le dimensionnement, des conseils...

Venant appuyer le contenu technique, le dossier de législation résume les réglementations thermiques, mettant l'accent sur la RT 2005 et la RT 2012, les labels de performance énergétique en vigueur, le DPE, ainsi que la démarche HQE.

On trouvera enfin en annexes un certain nombre de notions théoriques (unités, grandeurs et symboles, calorimétrie, thermométrie, traitement de l'air, transfert thermique), les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans le domaine, des extraits des valeurs par défaut (RT 2012) pour les ponts thermiques, des tables de données pour la température virtuelle extérieure et pour le coefficient de transmission thermique surfacique des vitrages.

SOMMAIRE

Les cahiers techniques, mode d'emploi 6

Dossier 1 **Chauffage** 8

Fiche 1 Calculer les déperditions de chaleur par transmission 10
Fiche 2 Calculer les déperditions de chaleur par renouvellement d'air 16
Fiche 3 Estimer les besoins en chauffage 22
Fiche 4 Choisir un système de chauffage 30
Fiche 5 Installer un plancher chauffant/rafraîchissant 40

Dossier 2 **Climatisation** 56

Fiche 6 Les paramètres d'une climatisation 58
Fiche 7 Calculer les charges extérieures dues à l'ensoleillement sur les parois vitrées 62
Fiche 8 Calculer les charges extérieures dues à l'ensoleillement sur les parois opaques 70
Fiche 9 Calculer les charges intérieures et les charges totales .. 74
Fiche 10 Installer un système de climatisation à débit d'air constant 82
Fiche 11 Installer un système de climatisation à deux conduits d'air 90
Fiche 12 Installer un système de climatisation à débit d'air variable 94
Fiche 13 Choisir un équipement autonome de climatisation 98
Fiche 14 Installer une climatisation à eau pulsée 104
Fiche 15 Installer un système de climatisation mixte 108
Fiche 16 Installer un système réversible PAC sur boucle d'eau ou un système à débit réfrigérant variable (DRV) 112
Fiche 17 Assurer la qualité de l'air d'un système de climatisation 118

Dossier 3 **Isolation** 128

Fiche 18 Les critères de choix d'un isolant 130
Fiche 19 Choisir un isolant naturel 134
Fiche 20 Choisir un isolant synthétique 140
Fiche 21 Traiter les ponts thermiques 144
Fiche 22 Déterminer les échanges thermiques à travers un mur 148
Fiche 23 Réaliser une isolation thermique 152
Fiche 24 Améliorer l'inertie thermique d'un bâtiment 156
Fiche 25 Installer une ventilation 166

Sommaire

Dossier 4 **Régulation** 174

Fiche 26 Rechercher la température de confort 176
Fiche 27 Choisir entre boucle ouverte et boucle fermée pour une régulation 180
Fiche 28 Choisir le mode de régulation 186
Fiche 29 Installer une régulation pour le chauffage à l'eau chaude 190
Fiche 30 Déterminer les paramètres de confort thermique 198

Dossier 5 **Législation** 204

Fiche 31 Historique de la réglementation thermique 206
Fiche 32 La Réglementation thermique 2005 210
Fiche 33 La Réglementation thermique 2012 218
Fiche 34 Réaliser un diagnostic de performance énergétique (DPE) 226
Fiche 35 La démarche HQE 232
Fiche 36 Les labels de performance énergétique 238

Annexes 242

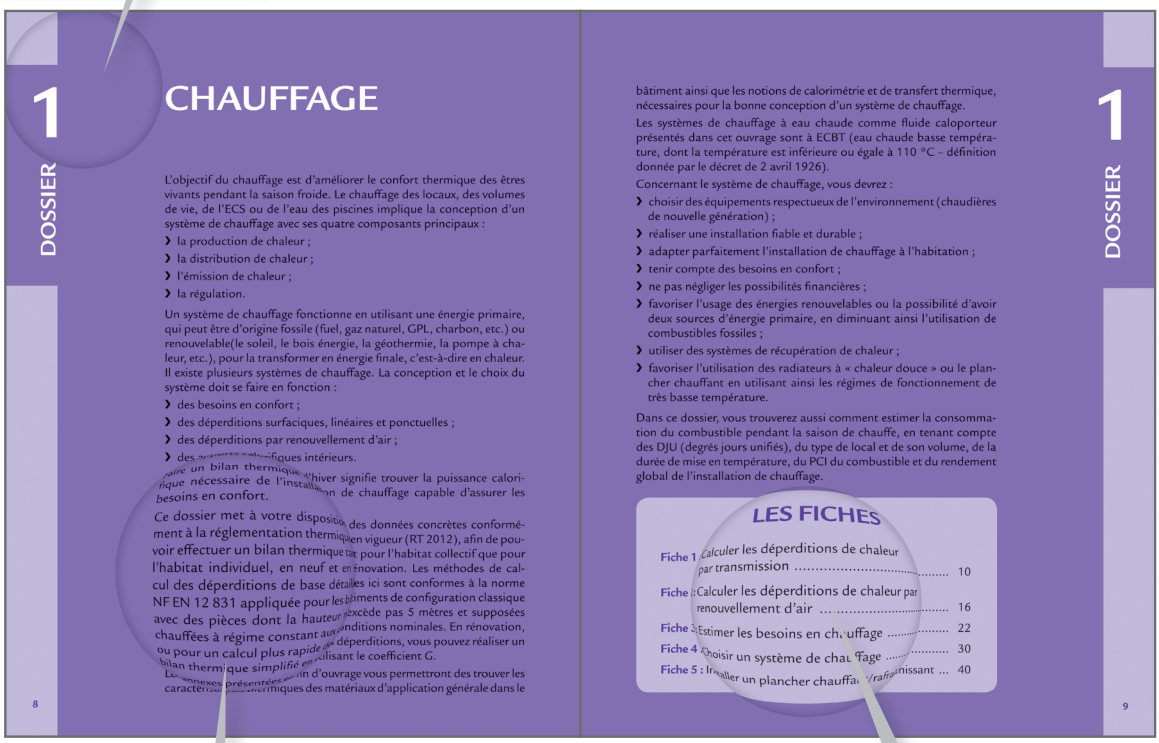
Annexe 1 Unités de mesure et grandeurs 244
Annexe 2 Symboles utilisés en génie climatique 248
Annexe 3 Transformation de l'énergie 254
Annexe 4 Transferts thermiques 256
Annexe 5 Calorimétrie 264
Annexe 6 Traitements de l'air 270
Annexe 7 Température virtuelle extérieure 280
Annexe 8 Coefficient de transmission thermique surfacique utile sur les doubles vitrages 284
Annexe 9 Caractéristiques thermiques des matériaux d'application générale dans le bâtiment (RT 2012) 294
Annexe 10 Ponts thermiques, valeur par défaut pour ψ (RT 2012) 308

Bibliographie 317

Index 318

LES CAHIERS TECHNIQUES, MODE D'EMPLOI

Les fiches sont classées par dossier



DOSSIER 1

CHAUFFAGE

L'objectif du chauffage est d'améliorer le confort thermique des êtres vivants pendant la saison froide. Le chauffage des locaux, des volumes de vie, de l'ECS ou de l'eau des piscines implique la conception d'un système de chauffage avec ses quatre composants principaux :

- la production de chaleur ;
- la distribution de chaleur ;
- l'émission de chaleur ;
- la régulation.

Un système de chauffage fonctionne en utilisant une énergie primaire, qui peut être d'origine fossile (fuel, gaz naturel, GPL, charbon, etc.) ou renouvelable(le soleil, le bois énergie, la géothermie, la pompe à chaleur, etc.), pour la transformer en énergie finale, c'est-à-dire en chaleur. Il existe plusieurs systèmes de chauffage. La conception et le choix du système doit se faire en fonction :

- des besoins en confort ;
- des déperditions surfaciques, linéaires et ponctuelles ;
- des déperditions par renouvellement d'air ;
- des apports thermiques intérieurs.

Faire un bilan thermique d'hiver signifie trouver la puissance calorifique nécessaire de l'installation de chauffage capable d'assurer les besoins en confort.

Ce dossier met à votre disposition des données concrètes conformément à la réglementation thermique en vigueur (RT 2012), afin de pouvoir effectuer un bilan thermique tant pour l'habitat collectif que pour l'habitat individuel, en neuf et en rénovation. Les méthodes de calcul des déperditions de base détaillées ici sont conformes à la norme NF EN 12 831 appliquée pour les bâtiments de configuration classique avec des pièces dont la hauteur n'excède pas 5 mètres et supposées chauffées à régime constant aux conditions nominales. En rénovation, ou pour un calcul plus rapide des déperditions, vous pouvez réaliser un bilan thermique simplifié en utilisant le coefficient G.

Les annexes présentées en fin d'ouvrage vous permettront de trouver les caractéristiques thermiques des matériaux d'application générale dans le bâtiment ainsi que les notions de calorimétrie et de transfert thermique, nécessaires pour la bonne conception d'un système de chauffage.

Les systèmes de chauffage à eau chaude comme fluide caloporteur présentés dans cet ouvrage sont à ECBT (eau chaude basse température, dont la température est inférieure ou égale à 110 °C – définition donnée par le décret de 2 avril 1926).

Concernant le système de chauffage, vous devrez :

- choisir des équipements respectueux de l'environnement (chaudières de nouvelle génération) ;
- réaliser une installation fiable et durable ;
- adapter parfaitement l'installation de chauffage à l'habitation ;
- tenir compte des besoins en confort ;
- ne pas négliger les possibilités financières ;
- favoriser l'usage des énergies renouvelables ou la possibilité d'avoir deux sources d'énergie primaire, en diminuant ainsi l'utilisation de combustibles fossiles ;
- utiliser des systèmes de récupération de chaleur ;
- favoriser l'utilisation des radiateurs à « chaleur douce » ou le plancher chauffant en utilisant ainsi les régimes de fonctionnement de très basse température.

Dans ce dossier, vous trouverez aussi comment estimer la consommation du combustible pendant la saison de chauffe, en tenant compte des DJU (degrés jours unifiés), du type de local et de son volume, de la durée de mise en température, du PCI du combustible et du rendement global de l'installation de chauffage.

LES FICHES

Fiche 1 : Calculer les déperditions de chaleur par transmission 10
Fiche 2 : Calculer les déperditions de chaleur par renouvellement d'air 16
Fiche 3 : Estimer les besoins en chauffage 22
Fiche 4 : Choisir un système de chauffage 30
Fiche 5 : Installer un plancher chauffant/rafraîchissant ... 40

Une introduction reprenant les grandes thématiques du dossier

Un menu déroulant des fiches du dossier

Une signalétique claire

Mise en avant de l'objectif de la fiche

Une partie **Repères** pour définir les bases

Une partie **Savoir-faire** qui détaille la mise en œuvre

Des compléments d'information pour aller plus loin

FICHE 16

INSTALLER UN SYSTÈME RÉVERSIBLE PAC SUR BOUCLE D'EAU OU UN SYSTÈME À DÉBIT RÉFRIGÉRANT VARIABLE (DRV)

Objectif

Assurer le chauffage ou la climatisation suivant les zones et suivant les besoins, en constructions neuves et en rénovation dans les immeubles tertiaires afin d'assurer une climatisation dans les différentes zones, dont les charges thermiques sont variables au cours de la journée.

REPÈRES

La circulation de l'eau se fait en fermant ... faire des pompes à chaleur.

- La PAC réchauffe le local à climatiser, source froide.
- La PAC refroidit le local à climatiser, l'eau de la boucle est la source chaude.

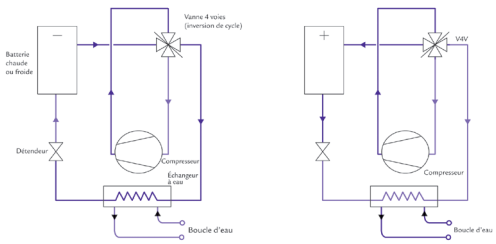


Figure 16.1 Fonctionnement en refroidissement (à gauche) et fonctionnement en chauffage (à droite)

SAVOIR-F...

Les systèmes PAC sur boucle d'eau

Ce système de conception simple et facile à mettre en œuvre assure une régulation individuelle. Du point de vue énergétique, l'efficacité est maximale lorsque les charges des différents locaux sont opposées et que la boucle est proche de l'équilibre thermique.

En revanche, le système n'assure pas le contrôle d'hygrométrie, le niveau sonore n'est pas négligeable, les économies d'énergie sont moyennes et une panne ou une intervention sur la boucle d'eau rend le système inutilisable.

Le système peut être utilisé pour :

- les locaux qui changent de signe de charge au cours de la journée ;
- les centres commerciaux ;
- la rénovation de locaux ;
- les locaux de grand volume ayant des orientations différentes ;
- des occupations irrégulières ;
- des bâtiments avec des salles aveugles à fort éclairage ;
- des bâtiments avec des apports thermiques élevés ou fortes déperditions.

Figure 16.2 Pompe à chaleur réversible air-eau 30RQ 039-160 (Photos propriétés et utilisées avec l'accord de Carrier SCS)

En chauffage, la température de la boucle d'eau sera maintenue entre 15 et 30 °C à l'aide d'un réchauffeur (échangeur de chaleur).

En refroidissement, la température de la boucle sera également maintenue entre 15 à 30 °C à l'aide d'un refroidisseur d'eau (tour de refroidissement à circuit fermé). Le système est intéressant du point de vue énergétique, surtout dans le cas où les besoins en chaud et en froid des locaux permettent d'obtenir un équilibre thermique sur la boucle d'eau, donc l'arrêt de l'échangeur de chaleur et de la tour de refroidissement.

Remarque

Il existe des installations qui peuvent assurer le fonctionnement des unités intérieures

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Une partie **En pratique** pour une application terrain

Des banques de données pour aider au dimensionnement

EN PRATIQUE

Les isolants minéraux

...ctéristiques des laines minérales

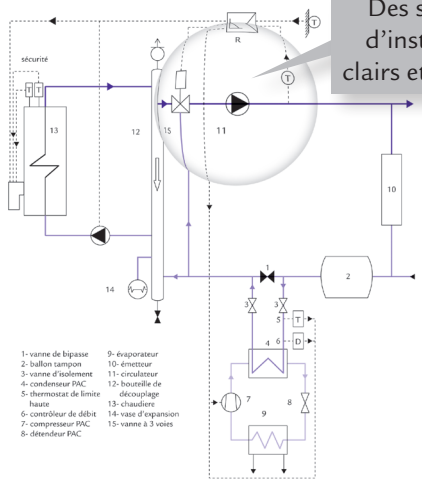
Laines minérales	ρ [kg/m³] (NF EN 1602)	λ [W/mK]	c_p [J/kgK]	μ sec	μ humide
Laines de roche	15 ≤ ρ < 25	0,050	1030	1	1
	25 ≤ ρ < 40	0,044	1030	1	1
	40 ≤ ρ < 100	0,042	1030	1	1
	100 ≤ ρ < 125	0,046	1030	1	1
	125 ≤ ρ < 150	0,046	1030	1	1
	150 ≤ ρ < 175	0,047	1030	1	1
	175 ≤ ρ < 200	0,048	1030	1	1
	7 ≤ ρ < 10	0,055	1030	1	1
	10 ≤ ρ < 15	0,047	1030	1	1
	15 ≤ ρ < 20	0,044	1030	1	1
	20 ≤ ρ < 30	0,041	1030	1	1
	30 ≤ ρ < 40	0,039	1030	1	1
	40 ≤ ρ < 80	0,038	1030	1	1
	80 ≤ ρ < 120	0,039	1030	1	1
	120 ≤ ρ < 150	0,040	1030	1	1
Laines obtenues par soufflage sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 25	0,056	1030	1	1
Laines obtenues par épandage manuel sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 60	0,065	1030	1	1
Laines obtenues par insufflation en mur, rampant,	20 ≤ ρ < 80	0,060	1000	1	1
Autres laines minérales		0,065	1030	1	1
Laine de laitier ou de roche ou hydraulique appliquée en sous faces de planchers ou sous-bardage DTU27.1 (NF P 15-201-1 et NF P 15-201-2)	140 ≤ ρ < 200	0,045	1200	2	2
	200 ≤ ρ < 300	0,050	1200	2	2
	300 ≤ ρ < 500	0,070	1200	2	2

Tableau 19.2 Caractéristiques du verre cellulaire

Verre cellulaire	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	c_p [J/kgK]	μ sec	μ humide
Fabrication postérieure à 1978	110 ≤ ρ < 140	0,051	1000	-	-
	140 ≤ ρ < 180	0,057	1000		

Exemples d'installations de chauffage avec récupérateurs de chaleur

Des schémas d'installation clairs et complets



1- vanne de bipasse
2- ballon tampon
3- vanne d'isolement
4- condenseur PAC
5- thermostat de limite haute
6- contrôleur de débit
7- compresseur PAC
8- détendeur PAC
9- évaporateur
10- émetteur
11- circulateur
12- bouteille de découplage
13- chaudière
14- vase d'expansion
15- vanne à 3 voies

Figure 4.6 Installation de chauffage avec condenseur d'une PAC en série sur le circuit

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

DOSSIER 1

CHAUFFAGE

L'objectif du chauffage est d'améliorer le confort thermique des êtres vivants pendant la saison froide. Le chauffage des locaux, des volumes de vie, de l'ECS ou de l'eau des piscines implique la conception d'un système de chauffage avec ses quatre composants principaux :

- la production de chaleur ;
- la distribution de chaleur ;
- l'émission de chaleur ;
- la régulation.

Un système de chauffage fonctionne en utilisant une énergie primaire, qui peut être d'origine fossile (fuel, gaz naturel, GPL, charbon, etc.) ou renouvelable(le soleil, le bois énergie, la géothermie, la pompe à chaleur, etc.), pour la transformer en énergie finale, c'est-à-dire en chaleur. Il existe plusieurs systèmes de chauffage. La conception et le choix du système doit se faire en fonction :

- des besoins en confort ;
- des déperditions surfaciques, linéaires et ponctuelles ;
- des déperditions par renouvellement d'air ;
- des apports calorifiques intérieurs.

Faire un bilan thermique d'hiver signifie trouver la puissance calorifique nécessaire de l'installation de chauffage capable d'assurer les besoins en confort.

Ce dossier met à votre disposition des données concrètes conformément à la réglementation thermique en vigueur (RT 2012), afin de pouvoir effectuer un bilan thermique tant pour l'habitat collectif que pour l'habitat individuel, en neuf et en rénovation. Les méthodes de calcul des déperditions de base détaillées ici sont conformes à la norme NF EN 12 831 appliquée pour les bâtiments de configuration classique avec des pièces dont la hauteur n'excède pas 5 mètres et supposées chauffées à régime constant aux conditions nominales. En rénovation, ou pour un calcul plus rapide des déperditions, vous pouvez réaliser un bilan thermique simplifié en utilisant le coefficient *G*.

Les annexes présentées en fin d'ouvrage vous permettront des trouver les caractéristiques thermiques des matériaux d'application générale dans le

bâtiment ainsi que les notions de calorimétrie et de transfert thermique, nécessaires pour la bonne conception d'un système de chauffage.

Les systèmes de chauffage à eau chaude comme fluide caloporteur présentés dans cet ouvrage sont à ECBT (eau chaude basse température, dont la température est inférieure ou égale à 110 °C – définition donnée par le décret de 2 avril 1926).

Concernant le système de chauffage, vous devrez :

- choisir des équipements respectueux de l'environnement (chaudières de nouvelle génération) ;
- réaliser une installation fiable et durable ;
- adapter parfaitement l'installation de chauffage à l'habitation ;
- tenir compte des besoins en confort ;
- ne pas négliger les possibilités financières ;
- favoriser l'usage des énergies renouvelables ou la possibilité d'avoir deux sources d'énergie primaire, en diminuant ainsi l'utilisation de combustibles fossiles ;
- utiliser des systèmes de récupération de chaleur ;
- favoriser l'utilisation des radiateurs à « chaleur douce » ou le plancher chauffant en utilisant ainsi les régimes de fonctionnement de très basse température.

Dans ce dossier, vous trouverez aussi comment estimer la consommation du combustible pendant la saison de chauffe, en tenant compte des DJU (degrés jours unifiés), du type de local et de son volume, de la durée de mise en température, du PCI du combustible et du rendement global de l'installation de chauffage.

LES FICHES

Fiche 1 : Calculer les déperditions de chaleur par transmission 10

Fiche 2 : Calculer les déperditions de chaleur par renouvellement d'air 16

Fiche 3 : Estimer les besoins en chauffage 22

Fiche 4 : Choisir un système de chauffage 30

Fiche 5 : Installer un plancher chauffant/rafraîchissant ... 40

FICHE 1

CALCULER LES DÉPERDITIONS DE CHALEUR PAR TRANSMISSION

Objectif

Calculer les déperditions thermiques pour l'ensemble du bâtiment afin de respecter la réglementation thermique et d'établir les besoins en chauffage.

REPÈRES

La valeur des déperditions par transmission, $\phi_{Ti,}$ est la somme des déperditions surfaciques (murs, planchers haut, planchers bas, portes, fenêtres) et des déperditions par transmission linéaire et ponctuelle. Les déperditions par transmission doivent être calculées pièce par pièce.

Le coefficient de transmission thermique U_k de la paroi (k) en W/m²K est calculé selon les normes :

- EN ISO 6946 pour les parois opaques (voir annexe 4 sur les transferts thermiques) ;
- EN ISO 10077-1 pour les portes et fenêtres (voir fiches 32 et 33 sur les RT 2005 et RT 2012).

SAVOIR-FAIRE

$$\Phi_{Ti} = \left(H_{Tie} + H_{Tiue} + H_{Tig} + H_{Tij}\right) \times \left(\theta_{int,i} - \theta_e\right) \quad [W]$$

- $\theta_{int,i}$ [°C] température intérieure de base de l'espace chauffé (i)
- θ_e [°C] température extérieure de base
- H_{Tie} [W/K] coefficient de déperdition par transmission de l'espace chauffé (i) vers l'extérieur (e) **à travers l'enveloppe du bâtiment** :

$$H_{Tie} = \Sigma A_K \cdot U_K \cdot e_k + \Sigma \psi_l \cdot l_l \cdot e_l + \Sigma X_j$$

- A_k [m²] aire de la paroi (k)
- e_k ; e_l facteurs correctifs d'exposition prenant en compte les influences climatiques (par défaut la valeur de ces facteurs est 1,0)
- ψ_l [W/mK] coefficient de transmission linéique du pont thermique linéaire (l). Ce coefficient peut être déterminé en utilisant les valeurs tabulées données dans l'EN ISO 14 683 ou les valeurs indiquées dans les règles Th-U Ponts thermiques RT 2012, ou encore par un calcul selon l'EN ISO 10 211-2
- l_l [m] longueur du pont thermique linéaire entre l'intérieur et l'extérieur
- X_j [W/K] coefficient de transmission ponctuel du pont thermique (j)

- **H_{Tiue}** [W/K] coefficient de déperdition par transmission de l'espace chauffé (i) vers l'extérieur (e) **à travers l'espace non chauffé** (u) :

$$H_{Tiue} = \Sigma A_k \cdot U_k \cdot b_u + \Sigma \psi_l \cdot l_l \cdot b_u$$

- b_u facteur de réduction de température prenant en compte la différence entre la température de l'espace non chauffé et la température extérieure nominale :

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

- θ_u [°C] température de l'espace non chauffé

À noter

Les valeurs du coefficient X des ponts thermiques pour les constructions neuves sont données en fonction de la configuration de l'enveloppe du bâtiment dans la RT 2000, la RT 2005 ou la RT 2012 (règles Th-U Ponts thermiques).

- **H_{Tig}** [W/K] coefficient de déperdition par transmission **à travers le sol** en régime permanent de l'espace chauffé (i) vers le sol (g) :

$$H_{Tig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\Sigma A_K \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_W$$

- f_{g1} facteur correctif prenant en compte l'influence de la variation annuelle de la température extérieure. Il est déterminé d'après une base nationale. En l'absence de valeurs nationales, il faut prendre la valeur par défaut : 1,45

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

› f_{g2} facteur correctif prenant en compte la différence entre la moyenne annuelle de la température extérieure (θ_{me}) et la température extérieure nominale :

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{me}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

Tableau 1.1 Valeur de G_w par défaut

G_w = 1,00	si distance nappe phréatique-dalle de plancher > 1 m
G_w = 1,15	si distance nappe phréatique-dalle de plancher < 1 m

› A_k [m²] aire de la paroi (k) en contact avec le sol

› $U_{equiv,k}$ [W/m²K] coefficient de transmission thermique équivalent de la paroi (k) déterminé selon la topologie du plancher

› G_W facteur prenant en compte l'influence de l'eau souterraine calculé selon EN ISO 13 370

› ***$H_{T,ij}$*** [W/K] coefficient de déperdition par transmission de l'espace chauffé (i) **vers un espace voisin** (j) chauffé à une température significativement différente, c'est-à-dire un espace chauffé adjacent dans la même partie du bâtiment ou un espace chauffé dans une partie adjacente du bâtiment :

$$H_{T,ij} = \Sigma f_{ij} \cdot A_k \cdot U_K$$

› f_{ij} facteur de réduction de température :

$$fij = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{espace\ adjacent}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

› U_k [W/m²K] coefficient de transmission thermique de la paroi (k)

En règle générale, le coefficient de transmission thermique surfacique *U*, se calcule en tenant compte des transmissions de chaleur de chaque couche d'une paroi non homogène :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^{n} \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}} \quad [W/m^2K]$$

- e_i [m] épaisseur de la couche (i)
- λ_i [W/m.K] conductivité thermique de la couche (i)
- $1/h_i = R_{si}$ [m²K/W] résistance thermique superficielle intérieure
- $1/h_e = R_{se}$ [m²K/W] résistance thermique superficielle extérieure

On peut réduire la formule du coefficient U :

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + R_{mur} + R_{se}} \quad [W/m^2K] \quad \text{avec } R_{mur} = \sum \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Pour connaître les valeurs de résistances thermiques superficielles selon la norme EN ISO 6946-1, voir la fiche 22. À noter que plus les valeurs de R sont grandes, plus le bâtiment est isolé thermiquement.

En pratique

Tableau 1.2 Valeurs par défaut pour le facteur de réduction de température b_u

Espace non chauffé	b_u
Pièce	
Avec seulement 1 mur extérieur	0,4
Avec au moins 2 murs extérieurs sans portes extérieures	0,5
Avec au moins 2 murs extérieurs et des portes extérieures (garages)	0,6
Avec au moins 3 murs extérieurs (escalier extérieur)	0,8
Sous-sol	
Sans fenêtres ni portes extérieures	0,5
Avec fenêtres ou portes extérieure	0,8
Espace sous toiture	
Espace sous toiture fortement ventilé (couverture en tuiles ou autres matériaux formant couverture discontinue) sans feutres ou panneaux en sous face.	1,0
Autre toiture non isolée	0,9
Toiture isolée	0,7
Circulations intérieures (sans murs extérieurs, taux de renouvellement d'air inférieur à $0,5^{-0,1}$	0,0
Circulations ouvertes sur l'extérieur (aire des ouvertures/volume de l'espace > 0,005 m²/m³	1,0
Vide sanitaire	0,8

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

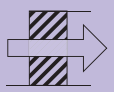
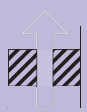
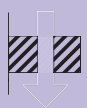
Tableau 1.3 Températures des espaces adjacents chauffés (valeurs par défaut)

Échange de chaleur entre l'espace chauffé (i) et...	$\theta_{adjacent\ espace}$ (°C)
... un local adjacent dans la même partie du bâtiment	L'espace adjacent doit être spécifié : salle de bain, local de stockage
... un local adjacent appartenant à une autre partie du bâtiment (ex. : appartement)	$\frac{\theta_{in,j} + \theta_{me}}{2}$
... un local adjacent appartenant à un bâtiment séparé (chauffé ou non chauffé)	θ_{me}

$\theta_{in,i}$: température intérieure de base de l'espace chauffé (i) en °C
θ_e : température extérieure de base en °C

À partir de la RT 2000, on utilise des logiciels thermiques qui tiennent compte des toutes les indications de la RT (Clima-Win, Perrenoud, etc.).

Tableau 1.4 Valeurs de résistances thermiques superficielles selon EN ISO 6946-1

Paroi donnant sur : **– l'extérieur** **– un passage ouvert** **– un local ouvert(2)**	R_{si} [m².K/W]	R_{se} (1) [m².K/W]	$R_{si} + R_{se}$ [m².K/W]
Paroi verticale (Inclinaison ≥ 60°) Flux horizontal 	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale (Inclinaison < 60°) Flux ascendant 	0,10	0,04	0,14
Flux descendant 	0,17	0,04	0,21

(1) Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire, R_{si} s'applique des deux côtés
(2) Un local est dit ouvert si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à 0,005 m²/m³. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.

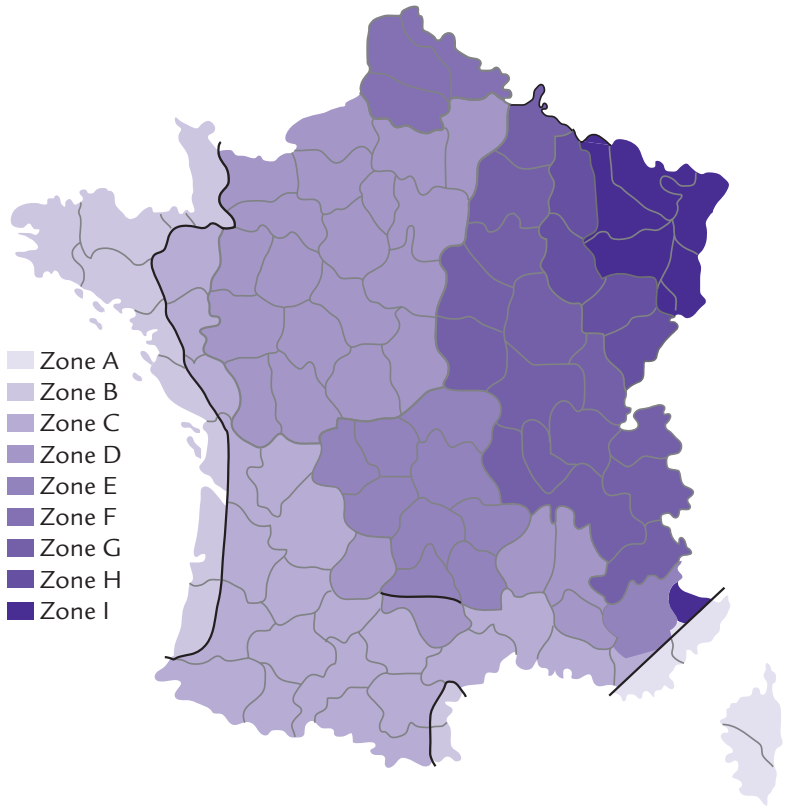


Figure 1.1 Carte des températures extérieures de base

Tranches d'altitude	Zone								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0 à 200 m	–2	–4	–5	–7	–8	–9	–10	–12	–15
201 à 400 m	–4	–5	–6	–8	–9	–10	–11	–13	–15
401 à 600 m	–6	–6	–7	–9	–11	–11	–13	–15	–19
601 à 800 m	–8	–7	–8	–11	–13	–12	–14	–17	–21
801 à 1 000 m	–10	–8	–9	–13	–15	–13	–17	–19	–23
1 001 à 1 200 m	–12	–9	–10	–14	–17		–19	–21	–24
1 201 à 1 400 m	–14	–10	–11	–15	–19		–21	–23	–25
1 401 à 1 600 m	–16		–12		–21		–23	–24	
1 601 à 1 800 m	–18		–13		–23		–24		
1 801 à 2 000 m	–20		–14		–25		–25		
2 001 à 2 200 m			–15		–27		–29		

FICHE 2

CALCULER LES DÉPERDITIONS DE CHALEUR PAR RENOUVELLEMENT D'AIR

Objectif

Calculer les pertes de chaleur vers l'extérieur par ventilation ou par infiltration à travers l'enveloppe du bâtiment et les transferts de chaleur par ventilation d'un espace chauffé à un autre espace chauffé à l'intérieur du bâtiment.

REPÈRES

Les déperditions par renouvellement d'air Φ_{Vi} [W] sont données par :

$$\Phi_{Vi} = H_{vi} \cdot (\theta_{int,l} - \theta_e) \quad [W]$$

- H_{vi} [W/K] coefficient de déperdition par renouvellement d'air :

$$H_{vi} = q_{Vi} \cdot \rho \cdot c_p$$

  - q_{Vi} [m^3/s] débit volumique d'air dans l'espace chauffé (i)
  - ρ [kg/m^3] masse volumique de l'air = 1,2 kg/m^3
  - c_p [kJ/kg.K] capacité calorifique massique de l'air à la pression constante = 1 006 J/kg.K

$\rho \cdot c_p$ = 0,34 Wh/m^3K est la capacité thermique volumique de l'air. La formule devient :

$$H_{vi} = 0{,}34\ q_{Vi}$$

SAVOIR-FAIRE

Le calcul du débit d'air dans l'espace chauffé q_{Vi} se fait en fonction du système de ventilation considéré.

Ventilation naturelle

On suppose que l'air introduit a les caractéristiques thermiques de l'air extérieur. Dans le calcul, on va prendre la plus grande des deux valeurs suivantes :

- le débit d'infiltration d'air $q_{Vinf,i}$ dû au passage d'air à travers les fissures et les joints de l'enveloppe du bâtiment ;
- le débit d'air minimal $q_{Vmin,i}$ requis pour des raisons hygiéniques :

$$q_{Vi} = \max\left(q_{Vinf,i},\ q_{Vmin,i}\right) \quad \left[\mathrm{m^3/h}\right]$$

$$q_{Vmin,i} = n_{min} \cdot V_l \quad \left[\mathrm{m^3/h}\right]$$

- n_{min} $[\mathrm{h^{-1}}]$ taux de renouvellement en air extérieur

Tableau 2.1 Valeurs par défaut pour n_{min}

Type du local	n_{min} [1/h]
Pièce habitable (par défaut)	0,5
Cuisine ou salle de bains avec fenêtre	1,5
Bureau	1,0
Salle de réunion, salle de classe	2,0

Ces valeurs du taux ont été établies en fonction des dimensions intérieures du local.

- V_l $[\mathrm{m^3}]$ volume du local
- $q_{Vinf,i}$ $[\mathrm{m^3/h}]$ débit d'infiltration induit par le vent et le tirage thermique sur l'enveloppe du bâtiment :

$$q_{Vinf,i} = 2\ V_l \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$$

- V_l $[\mathrm{m^3}]$ volume du local
- n_{50} $[\mathrm{h^{-1}}]$ taux horaire de renouvellement d'air résultant d'une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, y compris l'effet des entrées de l'air
- e_i coefficient d'exposition du local chauffé (i)
- ε_i facteur correctif de hauteur

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Tableau 2.2 Taux horaire de renouvellement d'air n_{50}

Construction	n_{50} en fonction du degré d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment (qualité des joints de fenêtre et porte)		
	Élevé (joints de haute qualité)	Moyen (Fenêtres à double vitrage, joints normaux)	Bas (fenêtres à simple vitrage, pas de joints)
Maisons individuelles	< 4	4-10	> 10
Autres logements ou bâtiments	< 2	2-5	> 5

Tableau 2.3 Coefficient d'exposition e_i du local chauffé (i)

Classe d'exposition	e_i		
Site non abrité (bâtiments en zone ventée, bâtiments de grande hauteur en centre-ville)	0	0,03	0,05
Site modérément abrité (bâtiments en campagne protégés par des arbres ou par d'autres bâtiments, banlieues	0	0,02	0,03
Site très abrité (bâtiments de taille moyenne en centre-ville, bâtiments en forêt)	0	0,01	0,02

Tableau 2.4 Facteur correctif de hauteur ε_i

Hauteur de l'espace chauffé au-dessus du sol (du centre du local au niveau du sol)	ε_i
0 – 10 m	1,0
> 10 – 30 m	1,2
> 30 m	1,5

Débits d'air dus aux systèmes de ventilation

Avec un système de ventilation, l'air introduit n'a pas nécessairement les mêmes caractéristiques thermiques que l'air extérieur, par exemple :

- on utilise des systèmes de récupération de chaleur ;
- l'air extérieur est préchauffé centralement ;
- l'air introduit provient d'espaces adjacents.

Dans ce cas, il faut introduire un facteur de réduction de température f_{vi} prenant en compte la différence entre la température de l'air introduit et la température extérieure :

$$q_{Vi} = q_{V\text{inf},i} + q_{V\text{su},i.} \cdot f_{vi} + q_{V\text{mech,inf},I}$$

- $q_{V\text{inf,I}}$ [m³/h] débit d'infiltration d'air dans l'espace chauffé (i)
- $q_{V\text{su,i}}$ [m³/h] débit d'air introduit dans l'espace chauffé (i)

Si le système de ventilation n'est pas connu, on calcule les déperditions par renouvellement d'air comme pour une installation sans système de ventilation.

Si le système de ventilation est connu, le débit d'air introduit dans l'espace chauffé (i) se détermine en dimensionnant le système de ventilation.

$$f_{vi} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{su,i}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e}$$

- $\theta_{su,i}$ [°C] température de l'air introduit dans l'espace chauffé

Débit d'air extrait excédentaire

Dans tout système de ventilation, le débit d'air extrait excédentaire, $q_{V\text{mech,inf,i}}$, est remplacé par l'air extérieur entrant à travers l'enveloppe du bâtiment :

$$q_{V\text{mech,inf,I}} = \max\left(q_{V\text{ex}} - q_{V\text{su}}\right)$$

- $q_{V\text{ex}}$ [m³/h] débit de l'air extrait pour l'ensemble du bâtiment en m³/h
- $q_{V\text{su}}$ [m³/h] débit de l'air introduit pour l'ensemble du bâtiment en m³/h

Dans les bâtiments résidentiels, $q_{V\text{su}}$ est souvent égal à zéro. On détermine tout d'abord le $q_{V\text{mech,inf,i}}$ pour le bâtiment entier, et on peut ensuite calculer la répartition du débit extérieur au prorata du volume de chaque espace V_i :

$$q_V mech,\text{inf},i = q_V mech,\text{inf} \cdot \frac{Vi}{\sum Vi}$$

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

En pratique

L'arrêté du 24 mars 1982 fixe les débits minimaux pour chaque pièce quel que soit le type de ventilation, en fonction du nombre de pièces de l'habitation.

Tableau 2.5 Débits minimaux pour chaque pièce

Nb pièces principales	Débits extraits exprimés en m^3/h				
	Cuisine	Salle de bain	Autre salle d'eau	WC unique	WC multiple
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 et plus	135	30	15	30	15

Note : Lorsque l'aération est assurée par un dispositif mécanique qui module automatiquement le renouvellement d'air du logement, de telle façon que le taux de pollution de l'air intérieur ne constitue aucun danger pour la santé et que les condensations sont évitées, sauf de façon passagère, les débits définis par le tableau 2.5 peuvent être réduits (article 4 modifié le 28 octobre 1983).

Tableau 2.6 Débits minimaux à respecter en VMC simple flux

Nb de pièces principales	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal en m^3/h	35	60	75	90	105	120	135
Débit minimal en cuisine en m^3/h	20	30	45	45	45	45	45

Tableau 2.7 Débits de ventilation minimaux en VMC hygroréglable

Nb de pièces principales	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal en m^3/h	10	10	15	20	25	30	35

FICHE 3

ESTIMER LES BESOINS EN CHAUFFAGE

Objectif

Déterminer la puissance de chauffage à installer dans les locaux en fonction des pertes thermiques d'un bâtiment.

REPÈRES

Charge thermique nominale totale pour un espace chauffé (i)

La charge thermique nominale peut se calculer pour un espace chauffé, pour une partie de bâtiment et pour un bâtiment entier, afin de déterminer la charge thermique permettant de dimensionner l'émetteur de chaleur pour chaque pièce, et la puissance du générateur de chaleur à installer.

$$\Phi_{HL,I} = \Phi_i + \Phi_{RH,I} \quad [W]$$

- Φ_i [W] déperditions de base totales de l'espace chauffé (i) :
$$\Phi_i = \Phi_{Ti} + \Phi_{vi}$$
- $\Phi_{RH,I}$ [W] surpuissance de relance de l'espace chauffé (i)

Estimation des besoins en chauffage *C*

$$C = \frac{G.V.DJU.H}{PCI.RG} \quad [m^3_{(n)} \text{ de gaz ou litre de fioul}]$$

- *G* [$W/m^3.°C$] coefficient de déperditions volumiques
- *V* [m^3] volume du local chauffé
- *DJU* [°C] degrés jours unifiés
- *H* nombre d'heures de maintien à la température de consigne
- *PCI* [$Wh/m^3_{(n)}$ pour le gaz ou Wh/litre pour le fioul] pouvoir calorifique inférieur du combustible
- *RG* rendement global du système de chauffage

SAVOIR-FAIRE

Détermination du coefficient de déperditions volumique du bâtiment *G* et déperditions totales

G [W/m³.°C] est un indicateur de qualité d'isolation d'un bâtiment. Il représente les pertes thermiques d'un bâtiment (par les parois et par renouvellement d'air) pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur et par mètre cube habitable. *G* permet de déterminer la puissance à fournir dans les locaux pour le chauffage (en W) des bâtiments :

$$\text{Déperditions totales} = G \cdot V \cdot \Delta\theta \quad [\text{W}]$$

- G [W/m³ °C] coefficient des déperditions volumique
- V [m³] volume chauffé
- $\Delta\theta$ [°C] différence de température entre l'intérieur et l'extérieur

Tableau 3.1 Valeur de *G* selon le niveau d'isolation

Niveau d'isolation	*G*
Très haute performance énergétique	$G < 0{,}5$
Bien isolé correspondant à la réglementation thermique actuelle	$0{,}5 < G < 0{,}8$
Moyennement isolé	$0{,}8 < G < 1{,}4$
Mal isolé et/ou à fort renouvellement d'air	$G > 1{,}4$ et +

Calcul des DJU

La valeur des DJU dépend du lieu d'implantation, de la durée de la saison de chauffe, des températures de consigne et des intermittences de fonctionnement du chauffage. Ces dernières sont fonction du type de bâtiment considéré :

- hôpitaux et maisons de retraite : 20 à 22 °C en permanence de septembre à juin ;
- logements : 19 °C le jour et 17 °C la nuit de mi-octobre à mi-mai ;

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

- établissements scolaires : période scolaire : 5 j/7 à 19 °C le jour et 15 °C la nuit, et 2 j/7 à 15 °C ; congés scolaires : hors gel (8 à 10 °C) en permanence.

Pour le calcul des DJU, la température à prendre en compte est celle de « non-chauffage », inférieure de 1 à 2 °C à la température de consigne, selon les apports gratuits (ensoleillement et pertes des appareils en fonctionnement).

Le DJU est une valeur représentative de l'écart de température d'une journée donnée et un seuil de température préétabli :

$$DJU = \sum^{n} (18 - \frac{\theta_{max} + \theta_{min}}{2})$$

- n nombre de jours de chauffage
- 18 °C température de référence (20 – 2 °C) (2 °C par les apports gratuits)
- $\frac{\theta_{max} + \theta_{min}}{2}$ moyenne entre les températures extérieures mini males et maximales de la journée

Rendement global annuel de l'installation de chauffage depuis le brûleur jusqu'à l'émetteur le plus éloigné (RG)

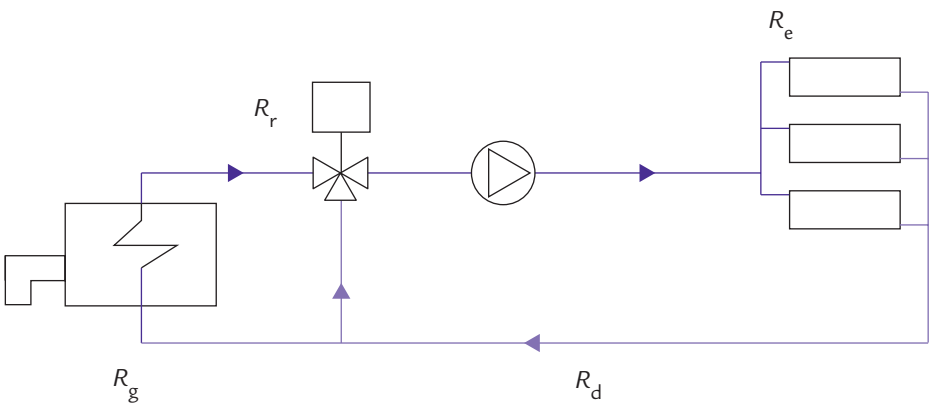


Figure 3.1

$$RG = R_g \cdot R_r \cdot R_d \cdot R_e \quad \%$$

- R_g rendement global annuel du générateur de chaleur
- R_r rendement de régulation
- R_d rendement de distribution (selon l'isolation et le passage des tuyauteries)
- R_e rendement d'émission

Tableau 3.2 Valeur de R_g

Âge de la chaudière	R_g
5 à 10 ans	0,85 %
10 à 15 ans	0,80 %
+ de 15 ans	0,72 %

Tableau 3.3 Rendement de régulation R_r en fonction du type de régulation

Type de régulation	R_r
Manuel	0,70
Avec thermostat d'ambiance	0,80
Avec sonde de température extérieure	0,90
Optimisation auto-adaptative	0,95

Tableau 3.4 Valeur de R_d

	R_d
Installation ancienne	0,90
Installation neuve	0,95

Tableau 3.5 Valeur de R_e en fonction du type d'émetteur

Émetteur	R_e
Radiateurs	0,90
Convecteurs	0,95
Plancher chauffant	1,00

Espace à chauffage intermittent

La surpuissance nécessaire pour compenser les effets de l'intermittence du chauffage est :

$$\Phi_{RH,I} = A_i \cdot f_{RH} \quad [W]$$

- A_i [m²] aire du plancher de l'espace chauffé (i)
- f_{RH} facteur de relance fonction du type de bâtiment

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Tableau 3.6 Valeurs par défaut pour le facteur de relance en fonction des dimensions intérieures pour l'aire de plancher et une hauteur moyenne < 3,5 m

Temps de relance	f_{RH}								
	Chute prévue de la température intérieure lors du ralenti								
	2K			3K			4K		
	Inertie du bâtiment			Inertie du bâtiment			Inertie du bâtiment		
	Faible	Moyenne	Forte	Faible	Moyenne	Forte	Faible	Moyenne	Forte
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

Dans les bâtiments bien isolés et étanches à l'air, une chute prévue de température intérieure, lors du ralenti, supérieure de 2 à 3 K n'est pas très vraisemblable. Elle dépend des conditions climatiques et de l'inertie thermique du bâtiment :

- bâtiment de forte inertie (planchers en béton et murs en briques ou en béton) ;
- bâtiment d'inertie moyenne (planchers et plafonds en béton et murs légers) ;
- bâtiments de faible inertie (faux plafonds, planchers surélevé et murs légers).

Puissance calorifique à installer = Déperditions totales × *Cs*

- *Cs* (coefficient de surpuissance) = 1,00 à 1,15 (marge de sécurité).

EN PRATIQUE

Les valeurs indiquées dans les tableaux ci-dessous peuvent être utilisées pour estimer les besoins en chauffage (la quantité de combustible nécessaire pour la saison de chauffe).